

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
13. Februar 2003 (13.02.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/011516 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B23K 26/14**,
10/02

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/01510

(22) Internationales Anmeldedatum:
25. April 2002 (25.04.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 36 951.4 28. Juli 2001 (28.07.2001) DE

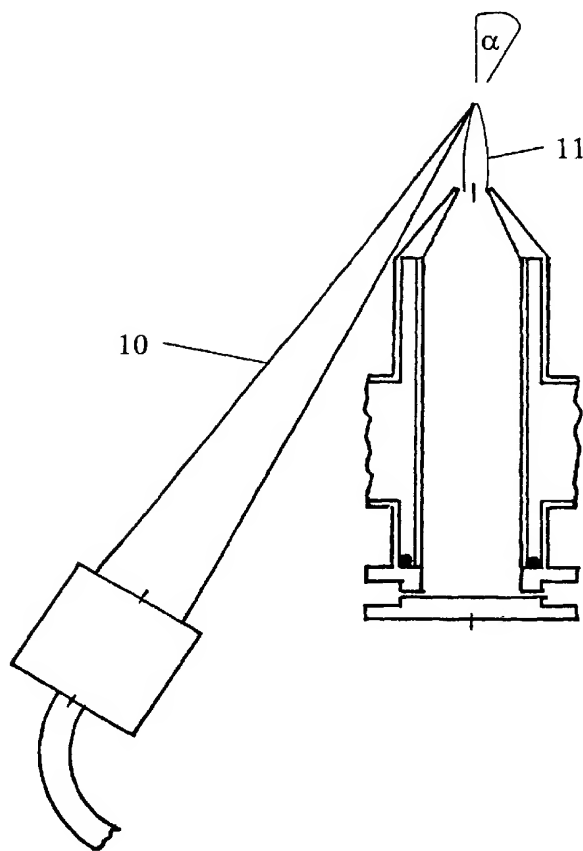
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **MTU AERO ENGINES GMBH** [DE/DE];
Dachauer Strasse 665, 80995 München (DE). **DAIM-
LERCHRYSLER AG** [DE/DE]; Epplstrasse 225, 70567
Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BAYER, Erwin**
[DE/DE]; Ostenstrasse 36, 85221 Dachau (DE).
HÖSCHELE, Jörg [DE/DE]; Dornierstrasse 46,
88048 Friedrichshafen (DE). **STEINWANDEL, Jürgen**
[DE/DE]; Bodanstrasse 19 a, 88690 Uhlingen-Mühlhofen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: LASER-PLASMA HYBRID WELDING METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM LASER-PLASMA-HYBRIDSCHWEISSEN



(57) Abstract: The invention relates to a laser-plasma hybrid welding method, whereby in order to weld workpieces, a laser beam (10) and a plasma beam (11) are brought together in the process area located near the workpieces. According to the invention, the free microwave-induced plasma beam (11) is produced using the following method steps: generating microwaves in a high-frequency microwave source; guiding the microwaves in a waveguide (1); introducing a process gas into a microwave-transparent tube (2), which has a gas inlet opening (14) and a gas outlet opening (15) at a pressure $p \geq 1$ bar, whereby the process gas is introduced into the microwave-transparent tube (2) via the gas inlet opening (14) so that it has a tangential flow component; producing a plasma (12) inside the microwave-transparent tube (2) by igniting the process gas without the use of electrodes; producing a plasma beam (11) by introducing the plasma (12) into the working space (16) via a metallic nozzle (1) located at the gas outlet opening (15) of the tube (2).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laser-Plasma-Hybridschweissen, wobei zum Verschweissen von Werkstücken ein Laserstrahl (10) und ein Plasmastrahl (11) im werkstücknahen Prozessbereich zusammengeführt werden. Erfindungsgemäss wird der freie mikrowelleninduzierte Plasmastrahl (11) mittels folgender Verfahrensschritte erzeugt: Erzeugung von Mikrowellen in einer hochfrequenten Mikrowellenquelle, Führen der Mikrowellen in einem Hohlleiter (1), Einleiten eines Prozessgases in ein mikrowellentransparentes Rohr (2), welches eine Gaseintrittsöffnung (14) und eine Gasaustrittsöffnung (15) umfasst, bei einem Druck $p \sim 1$ bar, wobei das Prozessgas durch die Gaseintrittsöffnung (14) derart in das mikrowellentransparente Rohr (2) eingeleitet

wird, dass es eine tangentiale Strömungskomponente aufweist, Erzeugung

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 03/011516 A1



(DE). **WILLNEFF, Rainer** [DE/DE]; Richard-Wagner-Strasse 3, 88677 Markdorf (DE).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(74) Anwälte: **ZACHARIAS, Frank** usw.; DaimlerChrysler AG, Intellectual Property Management, IPM - C106, 70546 Stuttgart (DE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(81) Bestimmungsstaaten (national): CA, JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

eines Plasmas (12) im mikrowellentransparenten Rohr (2) mittels elektrodensem Zünden des Prozessgases, Erzeugung eines Plasmastrahls (11) mittels Einleiten des Plasmas (12) in den Arbeitsraum (16) durch eine an der Gasaustrittsöffnung (15) des Rohrs (2) angeordnete metallische Düse (1).

Verfahren zum Laser-Plasma-Hybridschweißen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laser-Plasma-Hybridschweißen nach Patentanspruch 1.

In US 6,034,343 wird eine Vorrichtung beschrieben, bei der ein Laserschweißverfahren und ein konventionelles Plasmaschweißverfahren, z.B. Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG) oder Metallaktivgas-Schweißen (MAG), miteinander kombiniert werden. Dabei brennt ein Lichtbogen zwischen einer nicht abschmelzenden Elektrode, üblicherweise eine Wolfram-Elektrode, und dem Werkstück, wodurch das Werkstück aufgeschmolzen wird. Mittels eines Linsensystems wird der Laserstrahl auf das Werkstück fokussiert. Das Linsensystem und die Elektrode sind dabei konzentrisch zueinander angeordnet. Mit dem Laserstrahl ist es nun möglich, eine hohe Energieleistung in einem schmalen und tiefen Bereich des aufgeschmolzenen Werkstücks zu konzentrieren.

Ein weiteres Verfahren zum Verschweißen von Werkstücken mittels Laser-Plasma-Hybridschweißens ist in DE 195 00 512 A1 beschrieben. Hierbei sind der zum Verschweißen der Werkstücke verwendete Laserstrahl und der Lichtbogen in einem Winkel zueinander angeordnet. Der Lichtbogen brennt auch bei diesem bekannten Verfahren zwischen einer Elektrode und dem Werkstück.

Bei den bekannten Verfahren erweist es sich als nachteilig, dass sich aufgrund einer durch die Lebensdauer der Elektrode begrenzten Stromstärke und damit begrenzten Lichtbogenleistung eine relativ geringe Schweißgeschwindigkeit ergibt. Außerdem fließt aufgrund der relativ hohen Wärmeleitfähigkeit der zu verschweißenden Werkstücke ein erheblicher Anteil der in das Werkstück eingebrachten Wärme in die Umgebung der Schweißnaht ab. Hieraus ergeben sich weitere Nachteile hinsichtlich einer hohen Wärmebelastung des Werkstücks, welche zu einem erheblichen Verzug des Werkstücks führt.

Ein weiterer Nachteil ist die eingeschränkte Verwendung von Prozeßgasen. So werden bei den bekannten Verfahren als Prozeßgas üblicherweise Edelgase eingesetzt. Der Einsatz von

z.B. Sauerstoff und anderen hinsichtlich der Elektrodenmaterialien korrosiven Prozeßgasen ist nicht möglich.

Aufgrund der hohen Lichtbogendivergenz des Plasmastrahls und der damit verbundenen geringen, in das Werkstück eingebrachten Leistungsdichte, wird bei den bekannten Laser-Plasma-Hybridschweißverfahren ein leistungsstarker Laser benötigt.

Weitere Nachteile sind die geringe Langzeitstabilität sowie der kostenintensive Aufbau und Betrieb herkömmlicher Laser-Plasma-Hybridsschweißsysteme.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Laser-Plasma-Hybridschweißen anzugeben, bei dem eine Reduktion der Investitions- und Betriebskosten des Laser-Plasma-Hybridschweißprozesses und eine Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit möglich ist.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Erfindungsgemäß wird zum Laser-Plasma-Hybridschweißen ein freier mikrowelleninduzierter Plasmastrahl verwendet, der folgendermaßen erzeugt wird: in einer hochfrequenten Mikrowellenquelle werden Mikrowellen erzeugt, welche in einem Hohlleiter geführt werden. Das Prozessgas wird in ein mikrowellentransparentes Rohr, welches eine Gaseintrittsöffnung und eine Gasaustrittsöffnung umfasst, bei einem Druck $p \geq 1$ bar derart durch die Gaseintrittsöffnung des Rohres eingeleitet, dass es eine tangentiale Strömungskomponente aufweist. Mittels elektrodenlosen Zündens des Prozessgases wird im mikrowellentransparenten Rohr ein Plasma erzeugt, welches durch eine an der Gasaustrittsöffnung des Rohrs angeordnete metallische Düse in den Arbeitsraum eingeleitet wird, wodurch der Plasmastrahl erzeugt wird. Insbesondere befindet sich das zu verschweißende Werkstück im Arbeitsraum.

Der Laserstrahl wird vorteilhaft in einem Festkörperlaser, insbesondere einem Nd-YAG-Laser, oder in einem Gaslaser, insbesondere einem CO₂-Laser oder Excimer-Laser erzeugt. Es ist aber auch möglich, den Laserstrahl in einem Diodenlaser zu erzeugen.

In einer ersten vorteilhaften Ausführung der Erfindung verläuft der Laserstrahl durch das mikrowellentransparente Rohr und durch die Öffnung der Düse in den Arbeitsraum. Dabei ist es z.B. möglich, dass der Laserstrahl und der Plasmastrahl konzentrisch zueinander verlaufen. Bei einem entsprechend großen Öffnungsdurchmesser der Düse ist es aber auch möglich, dass der Laserstrahl und der Plasmastrahl unter einem vorgebbaren Winkel, der durch die Geometrie der Anordnung begrenzt wird, zueinander verlaufen. Der Vorteil dieser Ausführung ist, dass der Laserstrahl unterstützend bei der Zündung und Aufrechterhaltung des Plasmas wirkt. Außerdem kann dadurch ein kompakter Aufbau eines Laser-Plasma-Hybridschweißprozesses realisiert werden.

In einer zweiten vorteilhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Laser-Plasma-Hybridschweißverfahrens verläuft der Laserstrahl außerhalb des mikrowellentransparenten Rohrs. Hierbei ist es möglich, in einer geeigneten Anordnung den Laser zur Erzeugung des Laserstrahls außerhalb der Hohlleiteranordnung zur Erzeugung des Plasmastrahls derart zu positionieren, dass sich der Laserstrahl und der Plasmastrahl auf der Oberfläche oder im oberflächennahen Bereich des zu verschweißenden Werkstücks kreuzen. Darüber hinaus können der Laserstrahl und der Plasmastrahl auch derart zueinander angeordnet sein, dass der eine Strahl dem anderen Strahl beim Schweißprozeß vorausläuft. Dadurch kann die Qualität der Schweißnaht verbessert und die Schweißgeschwindigkeit erhöht werden.

Mittels des erfindungsgemäßen elektrodenlosen Laser-Plasma-Hybridschweißverfahrens ergeben sich besonders vorteilhafte Plasmaeigenschaften. So wird die spezifische Enthalpie des Plasmas und die damit verbundene Enthalpieflussdichte des Plasmas erhöht. Damit verbunden wird die Plasmatemperatur des Plasmas und des Plasmastrahls erhöht. Daraus ergeben sich gegenüber den Laser-Plasma-Hybridschweißverfahren des Stands der Technik Vorteile hinsichtlich einer gesteigerten Schweißgeschwindigkeit und niedrigeren Schweißnahtkosten. Mit dem erfindungsgemäßen Laser-Plasma-Hybridschweißverfahren wird somit ein elektrodenloses Laser-Plasma-Hybridschweißverfahren angegeben, dass erhebliche betriebswirtschaftliche und anwendungsbezogene Vorteile bei gleichzeitig großer Einsatzbreite des Schweißverfahrens bietet.

Außerdem werden die Eigenschaften des Plasmastrahls hinsichtlich eines verringerten Durchmessers sowie einer verringerten Strahlwinkeldivergenz verbessert. Darüber hinaus

breitet sich der zylindersymmetrische Plasmastrahl in dem erfindungsgemäßen Verfahren parallel aus.

Die tangentielle Einspeisung des Prozessgases in das mikrowellentransparente Rohr bewirkt, dass sich in dem Rohr eine in Richtung der Gasaustrittsöffnung des Rohrs gerichtet axiale Strömungskomponente ausbildet. Dies wirkt unterstützend bei der erfindungsgemäßen Erzeugung eines Plasmastrahls mit geringer Strahlwinkeldivergenz. Aufgrund der durch die tangentielle Einspeisung des Prozessgases verursachten Radialbeschleunigung, die durch die Querschnittsverengung der Düse in Richtung des Düsenaustritts weiter verstärkt wird, bewegen sich die ungleichförmig beschleunigten freien Ladungsträger in Richtung des Düsenaustritts auf immer engeren Spiralbahnen, wodurch die Zentripetalbeschleunigung der Ladungsträger zunimmt. Diese Bewegung wird von den Ladungsträgern auch nach Austritt aus der Düse in den Arbeitsraum beibehalten. Da aufgrund der unterschiedlichen Ionen- und Elektronenbeweglichkeit lokal keine Ladungsneutralität vorliegt, wird im Plasmastrahl ein axial orientiertes Magnetfeld induziert, welches zu einer Strömungseinschnürung des Plasmastrahl nach Austritt aus der Düse führt (z-Pinch). Es handelt sich hierbei um den Magneto-Hydrodynamischen Effekt (MHD-Effekt).

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist, dass der Plasmastrahl mittels kostengünstiger und robuster Hochfrequenzsysteme, z.B. Magnetron oder Klystron erzeugt werden kann. Mit diesen Hochfrequenzsystemen sind vorteilhaft Mikrowellenquellen im erforderlichen Leistungsbereich bis 100 kW und Frequenzbereich von 0,95 GHz bis 35 GHz zugänglich. Insbesondere können Mikrowellen der Frequenz 2,46 GHz verwendet werden, da es sich hierbei um kostengünstige und in der Industrie und Haushaltsanwendungen weit verbreitete Mikrowellenquellen handelt.

Aufgrund der elektrodenlosen Plasmaerzeugung ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren keine Einschränkung hinsichtlich der einsetzbaren Prozessgase vorhanden. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird somit das Problem des Standes der Technik gelöst, dass es bei elektrodeninduzierten Plasmen zu Reaktionen der eingesetzten Prozessgase mit den Elektrodenwerkstoffen kommt, z.B. zur Bildung von Wolframoxid oder Wolframnitrid bei Wolframelektroden oder zur Wasserstoffversprödung. Es ist somit möglich, dass durch geeignete Wahl prozesstauglicher Gase oder Gasmischungen die spezifische Enthalpie des

Plasmas in Verbindung mit einer verbesserten Wärmeleitung zwischen Plasma und Werkstück zu vergrößern.

Außerdem wird, aufgrund des elektrodenlosen Laser-Plasma-Hybridschweißens der Eintrag von unerwünschtem Elektrodenmaterial in das Schweißgut verhindert. Des weiteren ist ein störungsfreier, mannloser und automatisierter Schweißprozess ohne ständiges Auswechseln von Verschleißteilen möglich.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Laser-Plasma-Hybridschweißverfahrens ist, dass die Wärmeeinflusszone des Plasmastrahls auf dem Werkstück wesentlich reduziert wird, was einen geringeren Wärmeeintrag, einen reduzierten Werkstückverzug und eine Verringerung der Werkstoffschädigung zur Folge hat. Außerdem wird mittels des erfindungsgemäßen Laser-Plasma-Hybridschweißverfahrens ein fehlerarmes Schweißen hinsichtlich geringerer Randkerben und geringer Porosität der Schweißnaht ermöglicht.

Um einen sicheren Betrieb, sowie eine sichere Zündung der für das erfindungsgemäße Verfahren benötigten Plasmen zu gewährleisten, wird in einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung der für die Führung der Mikrowellen vorhandene Hohlleiter im Querschnitt verengt. Dabei wird der Hohlleiter bevorzugt an der Stelle verengt, an der das mikrowellentransparente Rohr durch den Hohlleiter geführt wird. Der Hohlleiter und das Rohr sind dabei in einer zweckmäßigen Ausführung der Erfindung senkrecht zueinander ausgerichtet. Der Vorteil ist eine Erhöhung der elektrischen Feldstärke am Ort der Querschnittsverengung. Dadurch werden zum einen die Zündeigenschaften des Prozessgases verbessert und zum anderen die Leistungsdichte des Plasmas erhöht.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführung der Erfindung ist es auch möglich, dass zur Zündung des Plasmas eine Funkenstrecke eingesetzt wird.

Die Erfindung sowie weitere vorteilhafte Ausführungen der Erfindung werden im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in Schnittdarstellung, wobei der Laserstrahl durch das mikrowellentransparente Rohr verläuft,

Fig. 2 eine zweite Ausführungsform zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in Schnittdarstellung, wobei der Laserstrahl außerhalb des mikrowellentransparenten Rohrs verläuft,

Fig. 1 zeigt in Schnittdarstellung eine erste Ausführungsform zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Bei dieser Ausführungsform verläuft der Laserstrahl 10 durch das mikrowellentransparente Rohr 2. Die Darstellung zeigt ein mikrowellentransparentes Rohr 2, welches senkrecht durch einen Hohlleiter 3 geführt ist, der die von einer nicht dargestellten Mikrowellenquelle erzeugten Mikrowellen transportiert. Hierbei können als Hohlleiter 3 handelsübliche Wellenleiter verwendet werden. Es ist aber auch möglich, Hohlleiter zu verwenden, die eine Querschnittsverengung in dem Bereich aufweisen, in dem das mikrowellentransparente Rohr 2 durch den Hohlleiter 3 verläuft.

Das mikrowellentransparente Rohr 2 weist eine Gaseintrittsöffnung 14 für das Prozessgas und eine Gasaustrittsöffnung 15 für das Plasma 12 auf. Im Bereich 9, in dem das mikrowellentransparente Rohr 2 durch den Hohlleiter 3 verläuft wird, das Plasma 12 durch Mikrowellenabsorption erzeugt.

Das mikrowellentransparente Rohr 2 ist an der Gaseintrittsöffnung 14 mit einer Gaszuführungseinheit 8 und an der Gasaustrittsöffnung 15 mit einer metallischen Düse 1, durch die das Plasma 12 als Plasmastrahl 11 in den Arbeitsraum 16 strömt, verbunden. Vorteilhaft kann die metallische Düse 1 auch als Expansionsdüse ausgebildet sein. Hieraus ergeben sich weitere Vorteile hinsichtlich einer geringen Strahldivergenz des Plasmastrahls 11.

In der Gaszuführungseinheit 8 ist ein Gaseinlauf 4 vorhanden, durch den das Prozessgas in das mikrowellentransparente Rohr 2 eingespeist wird. Die Einspeisung erfolgt dabei derart, dass das einströmende Prozessgas eine tangentiale und eine in Richtung der Gasaustrittsöffnung 14 gerichtete axiale Strömungskomponente aufweist. Insbesondere wird das Prozessgas innerhalb des mikrowellentransparenten Rohrs 2 auf spiralförmigen Bahnen geführt (nicht dargestellt). Dadurch kommt es zu einer starken Zentripetalbeschleunigung des Gases in Richtung der Innenoberfläche des mikrowellentransparenten Rohrs 2 und zur Ausbildung eines Unterdrucks auf der Rohrachse. Dieser Unterdruck erleichtert außerdem auch die Zündung des Plasmas 12.

Der Laserstrahl 10 wird in einer nicht dargestellten Laserquelle erzeugt und mittels eines Lichtleiters 7 einer Optik 6 zugeführt. Die Optik 6 ist dabei vor einem im Boden der Gaszuführungseinheit 8 ausgeführten Fenster 5 angeordnet und koppelt den Laserstrahl 10 in das mikrowellentransparente Rohr 2 ein. Der Laserstrahl 10 verläuft im Rohr 2 parallel zum Plasma 12 und tritt durch die Düse 1 mit dem Plasmastrahl 11 in den Arbeitsraum 16 aus.

Das Plasma 12 kann mittels einer nicht eingezeichneten Funkenstrecke, z.B. eine Bogenentladung oder ein Zündfunke gezündet werden. Bei optimaler Abstimmung des Hohlleitersystems, d.h. maximale Feldstärke der Mikrowelle am Ort der Rohrachse ist auch eine selbstständige Plasmazündung möglich.

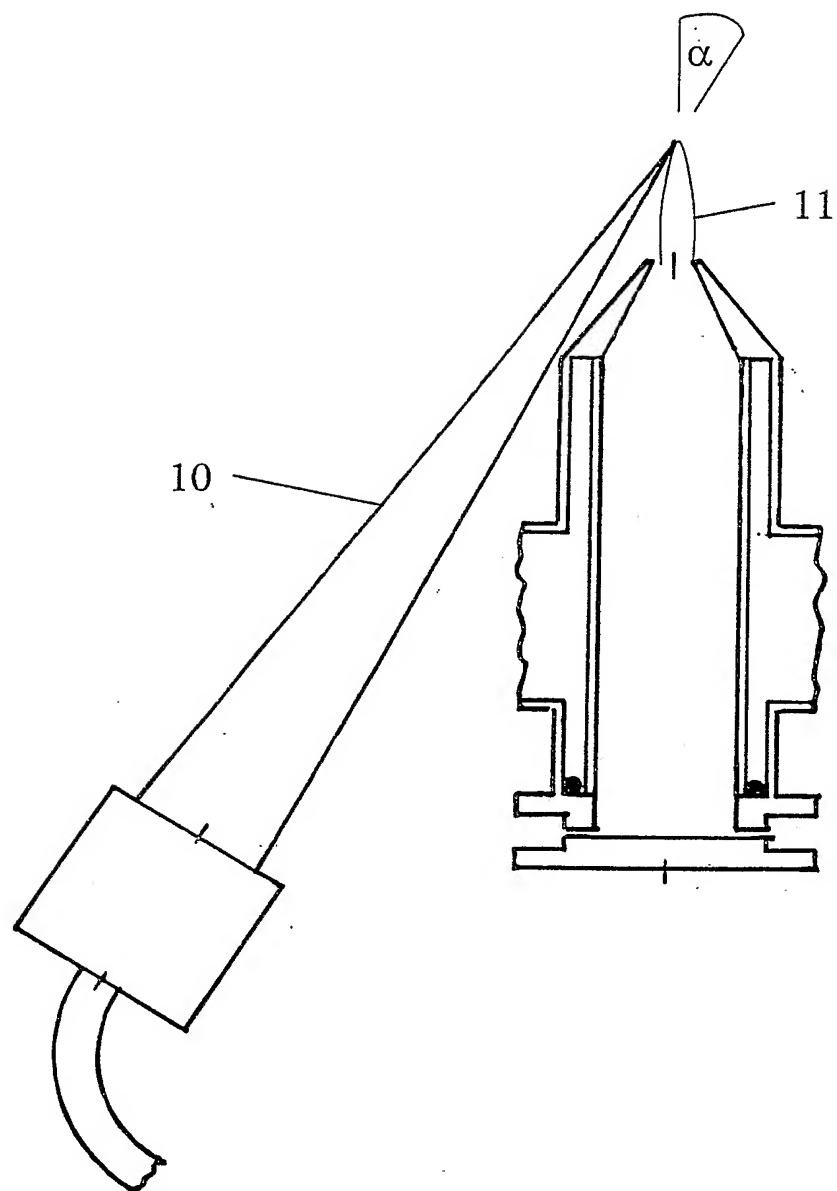
Fig. 2 zeigt in Schnittdarstellung eine zweite Ausführungsform zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Bei dieser Ausführungsform verläuft der Laserstrahl 10 außerhalb des mikrowellentransparenten Rohrs 2. Der Laserstrahl 10 und der Plasmastrahl 11 sind dabei unter einem Winkel derart zueinander angeordnet, dass sie in Ausbreitungsrichtung des Plasmastrahls hinter der Düse 1 zusammengeführt werden. Der Plasmastrahl 11 und der Laserstrahl 10 werden wie in Fig. 1 beschrieben erzeugt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Laser-Plasma-Hybridschweißen, wobei zum Verschweißen von Werkstücken ein Laserstrahl (10) und ein Plasmastrahl (11) im werkstücknahen Prozeßbereich zusammengeführt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Plasmastrahl (11) ein freier mikrowelleninduzierter Plasmastrahl ist, welcher mittels folgender Verfahrensschritte erzeugt wird
 - Erzeugung von Mikrowellen in einer hochfrequenten Mikrowellenquelle,
 - Führen der Mikrowellen in einem Hohlleiter (3),
 - Einleiten eines Prozessgases in ein mikrowellentransparentes Rohr (2), welches eine Gaseintrittsöffnung (14) und eine Gasaustrittsöffnung (15) umfasst, bei einem Druck $p \geq 1$ bar, wobei das Prozessgas durch die Gaseintrittsöffnung (14) derart in das mikrowellentransparente Rohr (2) eingeleitet wird, dass es eine tangentielle Strömungskomponente aufweist,
 - Erzeugung eines Plasmas (12) im mikrowellentransparenten Rohr (2) mittels elektrodensem Zünden des Prozessgases,
 - Erzeugung eines Plasmastrahls (11) mittels Einleiten des Plasmas (12) in den Arbeitsraum (16) durch eine an der Gasaustrittsöffnung (15) des Rohrs (2) angeordnete metallische Düse (1).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserstrahl (10) in einem Festkörperlaser, insbesondere einem Nd-YAG-Laser, oder einem Gaslaser, insbesondere einem CO₂-Laser oder einem Excimer-Laser oder einem Diodenlaser, erzeugt wird.
3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserstrahl (10) durch das mikrowellentransparente Rohr (2) und durch die metallische Düse (1) geführt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die metallische Düse (1) eine Expansionsdüse ist.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserstrahl (10) außerhalb des mikrowellentransparenten Rohrs (2) geführt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 3 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserstrahl (10) und der Plasmastrahl (11) einen Winkel () zueinander aufweisen.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Plasmaerzeugung Mikrowellen im Frequenzbereich zwischen 0,95 GHz und 35 GHz eingesetzt werden.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der senkrecht zum mikrowellentransparenten Rohr (2) ausgerichtete Hohlleiter (3) an der Stelle, an der das Rohr (2) durch den Hohlleiter (3) geführt ist, im Querschnitt verengt ist.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als mikrowellentransparentes Rohr (2) ein Rohr mit dielektrischen Eigenschaften aus SiO_2 oder Al_2O_3 in reiner Form ohne Dotierungen eingesetzt wird.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Zündung des Plasmas (12) eine Funkenstrecke eingesetzt wird.

2/2

**Fig. 2**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 02/01510

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B23K26/14 B23K10/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 976 488 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 2 February 2000 (2000-02-02) the whole document -----	1-10



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 September 2002

Date of mailing of the international search report

12/09/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Caubet, J-S

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 02/01510

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
EP 0976488	A	02-02-2000	JP	10216979 A		18-08-1998
			US	6172323 B1		09-01-2001
			EP	0976488 A1		02-02-2000

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 02/01510

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 B23K26/14 B23K10/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B23K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 976 488 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 2. Februar 2000 (2000-02-02) das ganze Dokument -----	1-10

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

* & * Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. September 2002

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12/09/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Caubet, J-S

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

PCT/DE 02/01510

Formblatt PCT/ISA/210 (Anhang Patentfamilie)(Juli 1992)

PUB-NO: WO003011516A1
DOCUMENT-IDENTIFIER: WO 3011516 A1
TITLE: LASER-PLASMA HYBRID WELDING
METHOD
PUBN-DATE: February 13, 2003

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
BAYER, ERWIN	DE
HOESCHELE, JOERG	DE
STEINWANDEL, JUERGEN	DE
WILLNEFF, RAINER	DE

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
MTU AERO ENGINES GMBH	DE
DAIMLER CHRYSLER AG	DE
BAYER ERWIN	DE
HOESCHELE JOERG	DE
STEINWANDEL JUERGEN	DE
WILLNEFF RAINER	DE

APPL-NO: DE00201510
APPL-DATE: April 25, 2002

PRIORITY-DATA: DE10136951A (July 28, 2001)

INT-CL (IPC): B23K026/14 , B23K010/02

EUR-CL (EPC) : B23K010/02 , B23K026/14 ,
B23K028/02 , H05H001/30

ABSTRACT:

CHG DATE=20031129 STATUS=O>The invention relates to a laser-plasma hybrid welding method, whereby in order to weld workpieces, a laser beam (10) and a plasma beam (11) are brought together in the process area located near the workpieces. According to the invention, the free microwave-induced plasma beam (11) is produced using the following method steps: generating microwaves in a high-frequency microwave source; guiding the microwaves in a waveguide (1); introducing a process gas into a microwave-transparent tube (2), which has a gas inlet opening (14) and a gas outlet opening (15) at a pressure $p \geq 1$ bar, whereby the process gas is introduced into the microwave-transparent tube (2) via the gas inlet opening (14) so that it has a tangential flow component; producing a plasma (12) inside the microwave-transparent tube (2) by igniting the process gas without the use of electrodes; producing a plasma beam (11) by introducing the plasma (12) into the working space (16) via a metallic nozzle (1) located at the gas outlet opening (15) of the tube (2).